

PROTECCION CONTRA LA CORROSION POR MEDIO DEL ROCIADO TERMICO

RESUMEN

Los recubrimientos rociados térmicamente pueden ser el medio más rentable para proteger la superficie del sustrato contra el desgaste y la corrosión. El recubrimiento rociado térmicamente comprende el calentamiento del material, en forma de polvo o alambre, hasta obtener una forma fundida o semi-fundida, la cual se transporta mediante una corriente de gas o de aire comprimido para su depósito, creando una estructura en la superficie en un determinado sustrato. Son grandes las ventajas de la aplicación de revestimientos de zinc, por rociado térmico, en puentes, para la protección contra la corrosión atmosférica y/o marítima. A pesar de que sean altos los costos de la aplicación de estos revestimientos, aproximadamente 1,5 veces mayor que los de sistemas de pintura de alto desempeño, los respectivos costos del ciclo de vida son menos de tres cuartos de los costos de sistemas de pintura, justificando su uso.

PALABRAS CLAVES: Corrosión, Rociado térmico, Recubrimientos, Protección, Ingeniería de superficies.

ABSTRACT

Thermal spray coating can be the most profitable middle to protect the substrate surface against the wear and corrosion. Thermal spray coating process is carried out by feeding powders or wire into a torch where the material is melted and propelled as molten particles towards the substrate. A coating builds-up as the substrate is exposed to the flux of molten material for a period of time. The advantages of the zinc coat application, by thermal spray, in bridges, for protection against the atmospheric corrosion. In spite of high costs of the application of these coating, approximately 1,5 more than those painting systems of high performance, the respective costs of the cycle of life are less than three-quarter of the painting systems costs, justifying their use.

KEY WORDS: Corrosion, Thermal Spray, Coatings, Protection, Surfaces Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de las capas rociadas térmicamente está recibiendo una creciente atención como soluciones a los problemas superficiales de la ingeniería que implican desgaste, corrosión a alta temperatura y acuosa, regulación térmica y degradación. La ingeniería actual está en una situación de constante desafío. La diversidad de opciones con relación al empleo de materiales y la competitividad industrial conllevan a una compleja situación, donde se debe unir características de desempeño a factores de costo y proceso, en la elección de los materiales más adecuados en una aplicación específica.

Los materiales tradicionales, están sufriendo alteraciones, mientras los nuevos materiales, como los polímeros y compuestos, se están adecuando al uso, compitiendo con los demás. La utilización de revestimientos sobre componentes o productos metálicos, conocida como ingeniería de superficie, viene creciendo drásticamente debido, principalmente, a los altos costos de los materiales avanzados y a los crecientes requerimientos de ciclo de vida de los sistemas de alto desempeño. Teniendo en cuenta la variedad de tipos de revestimientos y la complejidad de los factores ambientales, puede

JOSE LUDDEY MARULANDA A.

Ingeniero Metalúrgico, Magíster
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jmarulanda@utp.edu.co
jmarulanda@yahoo.com

ALBERTO ZAPATA MENESES

Ingeniero Mecánico, Especialista
Candidato a Magíster
Prof. Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
azapata@utp.edu.co

ENRIQUE ISAZA VELÁSQUEZ

Ingeniero Mecánico
Profesor, Candidato a Magíster
Universidad Tecnológica de Pereira
kalios@utp.edu.co

usarse un material económicamente apropiado como sustrato y aplicar un revestimiento adecuado para protegerlo del ambiente exterior, donde se empleará el referido material. Esta lógica ha llevado al rápido desarrollo de la tecnología de revestimientos para uso como parte integrante del proyecto en diversas aplicaciones de ingeniería

Los revestimientos rociados térmicamente son formados por depósitos de sucesivas capas de gólicas líquidas (millones de partículas por cm^2/sec) que se aplanan y solidifican, resultando en una macroestructura conocida como lenticular o laminar. A lo que inciden sobre el sustrato, esas pequeñas gólicas en forma de lentes se enfrían a velocidades extremadamente altas y se anclan mecánicamente en las irregularidades de la superficie. La estructura típica de revestimientos rociados térmicamente es la unión cohesiva consolidada de láminas del material rociado, entremezclada con inclusiones de óxidos, microgrietas, partículas sólidas y porosidad.

2. MARCO TEORICO

El rociado térmico es un proceso para añadir a un metal capas del mismo material o de metales diferentes. La

combinación resultante puede tener mejores propiedades físicas, químicas o costos más económicos que los de un metal o aleación uniforme. Hoy en día, los progresos del rociado térmico tienen una gran aceptación en la industria, tanto en la fabricación de piezas como en el mantenimiento, en donde el campo de aplicación se extiende y amplía cada vez más debido al desarrollo de nuevas aleaciones y procesos.

Para la aplicación de las capas rociadas térmicamente se usa una pistola para calentar el material, en forma de polvo o alambre, a un estado fundido o semi-fundido y se utiliza un gas para propulsar el material de aporte hacia el sustrato, creando una superficie totalmente nueva. El material de la capa tiene características físicas y químicas únicas, que solo son alcanzables con este proceso de rociado térmico. Las capas termorociadas son altamente rentables y sirven para agregar características y calidades superiores de funcionamiento a una superficie. La variedad de productos y capas que se pueden obtener por rociado térmico son virtualmente ilimitadas. Las capas pueden ser metálicas, cerámicas, poliméricas o de cualquier combinación deseada para dar un amplio rango de características físicas.

La selección del proceso de rociado térmico apropiado esta determinado por el material deseado en el recubrimiento, requerimientos de desempeño, sitio de aplicación del revestimiento, tamaño de la pieza y factores económicos. Las técnicas de rociado térmico utilizan sistemas de combustión por llama, Oxi-combustible de Alta Velocidad (HVOF), detonación. Sistemas de arco eléctrico y sistemas de plasma con arco transferido (PSP) y no transferido (PTA). El primer sistema utiliza gases combustibles como fuente de calor. El segundo y el tercer sistema lo constituyen procesos que utilizan energía eléctrica como fuente de calor, los consumibles utilizados son en forma de polvo, varilla o alambre. Un esquema del proceso por arco eléctrico es presentado en la Figura 1.

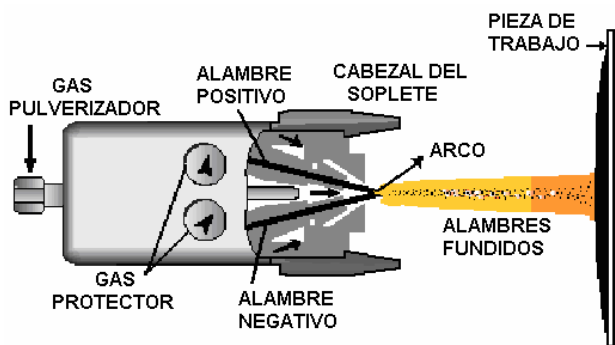


Figura 1. Esquema del proceso de rociado térmico por arco eléctrico.

La mayoría de los procesos de rociado térmico, dependen de las fuerzas interatómicas o de la formación de una aleación de alta adherencia con el metal rociado

térmicamente. Antes de proyectar un material sobre una superficie, esta debe someterse a una preparación previa, para obtener una buena adherencia del material proyectado, sobre el metal base, debido a que el principal mecanismo de adherencia del revestimiento al sustrato es el de anclaje mecánico, además esta preparación depende del espesor del recargue que se desea obtener, de la naturaleza del material proyectado y de la forma de la pieza. Antes de iniciar cualquier proceso de rociado térmico, es preciso eliminar todo tipo de contaminante presente en la superficie, para obtener la mayor adherencia posible del revestimiento al sustrato.

Para la obtención de revestimientos de calidad, con el desempeño deseado en servicio, es necesario un control riguroso de las diversas etapas del proceso. Muchas veces, una simple falta de atención en la calibración del equipo es responsable por la mala calidad o aún de la falta de repetibilidad del revestimiento. Antes de iniciar un trabajo de rociado térmico, es muy importante saber las propiedades necesarias del producto para una determinada aplicación.

2.1. Aplicaciones

El rociado térmico tiende a prolongar la vida útil de los bienes, al obtener altos rendimientos durante más tiempo y reducir el número de fallas. Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión. La avanzada tecnología del rociado térmico, provee a las industrias de todos los tipos, uno de los medios más eficaces que se hayan desarrollado para combatir el desgaste prematuro, al adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma se optimiza la disponibilidad del equipo, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil de los equipos y la maquinaria.

2.2. Corrosión

La corrosión es el resultado destructivo por una reacción química o electroquímica entre un metal o aleación y su medio ambiente, en donde los átomos metálicos pasan a compuestos químicos o minerales, ya que la corrosión es la tendencia que tienen los metales a volver al estado combinado, es decir, al mismo estado en que se encontraban en la naturaleza, que es, en términos termodinámicos, el estado más estable. También se puede afirmar que la corrosión electroquímica es un proceso espontáneo donde existe una zona anódica (que sufre la corrosión), una zona catódica (la cual esta protegida) y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. El problema de la corrosión del acero no ha sido completamente resuelto, hasta hoy en día. La

tecnología del rociado térmico es actualmente, el proceso más útil y efectivo para la protección contra corrosión, siendo bastante utilizado principalmente en las industrias del petróleo, alimentos, infraestructura, entre otras.

Una de las restricciones encontradas en el uso de revestimientos aplicados por rociado térmico es la porosidad inherente de los revestimientos, especialmente los poros interconectados, extremadamente críticos cuando los revestimientos son expuestos a un electrolito corrosivo. Sin embargo, los tratamientos de sellado y densificación han sido bastante efectivos en la reducción de la porosidad, además de la evolución de los procesos de aplicación, que pueden generar revestimientos con bajísimo nivel de porosidad, como es el caso de los procesos HVOF y plasma en cámara de vacío.

Diversos materiales son usados para la protección contra la corrosión, los cuales son aplicados por el proceso de rociado térmico, como el zinc, aluminio, aceros inoxidables, bronce, aleaciones duras, carburos y cerámicas, además de algunos polímeros. El zinc y el aluminio han sido aplicados desde algunas décadas como protección del acero estructural en puentes y estructuras similares. Aún siendo estos materiales galvánicamente de sacrificio con respecto al acero, la aplicación de sellantes para reducir la porosidad puede aumentar la vida en servicio de estos revestimientos.

2.2.1. Capas de aluminio y zinc rociadas térmicamente

En la protección contra corrosión de estructuras y componentes metálicos se usan capas de aluminio o zinc, donde el proceso se caracteriza por una baja inversión, elevada velocidad de deposición, gran eficiencia, facilidad de operación y bajo costo de mantenimiento. En general las capas obtenidas por esta técnica presentan baja fuerza de enlace, adherencia limitada y alta porosidad, no obstante se utiliza ampliamente en la industria donde se requiere recubrir grandes secciones con bajos requerimientos de tolerancias. La vida de una estructura de metal y la durabilidad de su apariencia estética dependen esencialmente de la calidad de la preparación de la superficie y de las características de comportamiento del recubrimiento que va a estar en contacto directo con el acero. En este contexto el zinc y la aleación zinc-aluminio juegan un papel fundamental no solo por su inherente resistencia a los medios agresivos, sino también en virtud de la excepcional protección activa o de sacrificio que proveen al acero (protección galvánica).

Los metales más usados para la protección contra la corrosión por rociado térmico son el aluminio y el zinc, los cuales son anódicos respecto al acero en la mayoría de los ambientes. Las características físicas de estas capas se demuestran en la tabla 1.

Material rociado	Densidad (g/cm ³)	Peso de capa (Kg./m ²) 0.025mm de espesor	Dureza Brinell	Esfuerzo compresivo (Esfuerzo de colapso) (MN/m ²)
Zinc	6.35	0.159	20-28	159
Aluminio	2.35	0.059	25-35	185

Tabla 1. Características físicas del zinc y el aluminio rociados térmicamente.

La gran ventaja que el proceso posee sobre casi cualquier otro, es que las capas del zinc y de aluminio se pueden aplicar a estructuras muy grandes, tales como puentes, ya que por mas 30 años, los grandes proyectos de la ingeniería de la construcción se han rociado térmicamente con zinc y aluminio y en estos trabajos, no se le ha dado ningún tratamiento después del transporte al sitio de trabajo. La experiencia ha demostrado que hay una cantidad de raspones y ralladuras por lo cual se requiere de reparación de las capas en el sitio y esto pocas veces se hace. Los depósitos rociados térmicamente de zinc y aluminio tienen características protectoras proporcionales a sus espesores. Tienen la ventaja que tienen un acabado mate y absorben bien la pintura.

Los recubrimientos rociados térmicamente han existido por muchos años y pruebas de exposición a la corrosión han probado ser superiores al pintado convencional con zinc. Metales rociados térmicamente han demostrado producir una mayor vida útil al acero que el sistema de pintado. El aluminio puede ser dejado a una abierta exposición corrosiva y a pesar de ello, resistir más al desgaste corrosivo. Uno de los beneficios obtenidos es que el recubrimiento puede ser utilizado casi inmediatamente después de ser aplicado, inclusive puede ser aplicado en zonas parciales (cuando por ejemplo se están haciendo reparaciones con soldadura), sin tener que esperar como en la pintura tradicional. El aluminio rociado térmicamente trabaja muy bien en ambientes con elevada temperatura, inclusive por arriba de los 120°C. El rociado térmico con aluminio protege al acero contra la corrosión alcalina hasta el más severo nivel.

Comparativamente con los recubrimientos orgánicos, ofrece un mayor costo/beneficio por la larga vida de duración. Recubrimientos densos con aluminio o zinc pueden ser aplicados para resistir las más severas condiciones de corrosión y dar de 5 a 15 años de vida útil, prácticamente sin ningún mantenimiento. Recubrimientos delgados compiten perfectamente en costo con otros métodos como el cromado o el pintado. Los recubrimientos rociados térmicamente también son excelentes como capa base (undercoatings) para materiales orgánicos ya que muchas veces el material orgánico falla debido a la corrosión debajo de la pintura.

El aluminio no produce productos pesados de corrosión y por lo tanto las capas de pintura en la capa rociada térmicamente no tienden a levantarse.

En todos los procesos de rociado térmico, las partículas emergen del inyector y aunque las partículas cerca del centro son fundidas, estas se solidifican en la periferia. Además en el proceso hay partículas sólidas que no se funden y estas partículas sólidas tienden a quedar atrapadas en la capa, haciéndola porosa. El efecto es más pronunciado en el proceso con polvos debido al mayor número de partículas sólidas presentes. En el caso de los metales reactivos como el aluminio y el cinc, las mismas partículas llegan a estar revestidas con una fina capa de óxido, de modo que el depósito final contiene capas muy delgadas de óxido. Al principio se pensó que la presencia de poros y de capas de óxidos causarían problemas, pero se ha encontrado que es falso, por lo menos para los metales anódicos. En una capa de zinc, de hecho, los poros deben tener poco efecto. El zinc protege por la acción de sacrificio y si un electrólito impregna la capa de zinc, entonces la corrosión comenzará, dando lugar a los productos relativamente insolubles que sellarán los poros automáticamente. Por lo tanto si la capa de zinc tiene suficiente peso por unidad de área, dará una protección completa. En la Figura 2. Se observa la aplicación del rociado térmico en una estructura.



Figura 2. Estructura rociada térmicamente para protegerla contra la corrosión.

La vida de una capa de zinc aplicada por rociado térmico esta de acuerdo al peso y esta es similar a la vida de una capa de zinc aplicada por cualquier otro método. Los poros juegan un papel importante en el valor protector del aluminio rociado térmicamente. Su comportamiento cuando es rociado es enteramente diferente del que se esperaría del metal macizo. Las capas del aluminio son levemente más porosas que capas de zinc, y la porosidad interconectada puede ser del 10%, aunque generalmente es más cerca del 5%. Cada partícula de aluminio en la capa es rodeada por una capa muy fina de óxido, de modo que la conductividad eléctrica de la capa rociada térmicamente con aluminio es absolutamente baja.

Según la serie electroquímica, se esperaría que el aluminio protegiera el acero en las discontinuidades con

más eficiencia y un área más amplia que el zinc. El aluminio con un revestimiento de óxido es, sin embargo, más noble que el zinc, y así aunque el aluminio rociado térmicamente protegerá el acero por la acción de sacrificio, esta acción no está tan marcada como la del zinc. Así un electrólito que pasa a través del aluminio rociado puede corroerse en las primeras horas de su vida, con la formación de sustancias muy insolubles, que sellan totalmente los poros del aluminio, de modo que después de un poco tiempo la capa del aluminio llegue a ser absolutamente impermeable a la humedad. En caso de un daño mecánico grande este mecanismo de auto sellado es suplido por la acción de sacrificio, aunque los productos insolubles formando en un rasguño pueden sellar casi inmediatamente el daño. Las capas de aluminio rociado térmicamente en el acero se han expuesto por más de 20 años en condiciones atmosféricas muy severas y han dado una perfecta protección; el único resultado de la larga exposición ha sido el aspecto de algunos nódulos pequeños del óxido de aluminio que parecen tener poco o nada de significación como sitios de corrosión futura.

Las capas de aluminio son extremadamente atractivas desde el punto de vista de la protección en condiciones sumergidas y atmosféricas, pero son más ventajosas cuando el electrólito del medio corrosivo tiene una alta conductividad. Mientras que las capas de aluminio rociadas térmicamente dan buenos resultados en agua de mar y excelentes resultados en atmósferas sulfurosas, una combinación de sulfuros y de cloruros parece reducir la insolubilidad del producto de corrosión y para resistir tal ataque combinado es preferible el zinc al aluminio. Si el aluminio recientemente rociado en el acero, se expone al agua por algunas horas a veces se cubre con una mancha marrón. Esto es debido a que el aluminio actúa cátodo con respecto al acero durante las primeras horas. Una cantidad muy pequeña de hierro se corroe durante el período inicial, pero después de un corto tiempo el aluminio actúa normalmente como ánodo. Los óxidos insolubles de aluminio formados son coloreados por una pequeña cantidad de hierro y se ha probado que estas manchas marrones, aunque son feas, no tienen un efecto significativo en la expectativa de la vida de la capa del aluminio.

Recientemente, se ha demostrado que la corrosión es prevenida totalmente rociando térmicamente con aluminio y es digno de hacer notar que los mejores resultados para este propósito y para la protección del acero son obtenidos con un aluminio de pureza comercial, conteniendo 99.5% de aluminio (la impureza principal no debe ser cobre). El aluminio comercial es mucho más eficaz que el aluminio puro. Ahora se sugiere que las aleaciones de aluminio-zinc con contenidos del 25 al 95% de Zn, dan una mejor protección en ciertas condiciones que cualquiera de los componentes solos.

Un uso interesante del aluminio rociado térmicamente está en aumentar la resistencia a la oxidación a alta

temperatura hasta 900°C. El material es rociado con aluminio, generalmente un espesor de 0.2 mm, entonces se trata con un sellante que puede ser betún o vidrio soluble y la difusión es realizada recociendo el material en un horno a 850°C por 30 minutos aproximadamente. La capa final consiste en una gradación de las aleaciones aluminio-hierro con una delgada capa de óxido de aluminio. Tales depósitos soportarán la oxidación por períodos muy largos a temperaturas de hasta 900°C. Sobre esta temperatura la difusión del hierro en el aluminio llega a ser tan rápida que la capa de la aleación llega a ser empobrecida y la capa superior contiene poco aluminio para proporcionar la protección adicional. El aumento de la resistencia a la oxidación a temperaturas sobre 900°C, puede ser obtenida rociando aleaciones de níquel-cromo y después tratarlas térmicamente a 1100°C, de modo que ocurra la difusión. Tales capas son muy usadas bajo estas condiciones de alta temperatura, donde no es económico utilizar las aleaciones sólidas de cromo o níquel. Bajo algunas condiciones del horno, las piezas macizas de níquel-cromo dan a veces resultados insatisfactorios debido a ataque por los gases sulfurosos. Esto puede ser superado en gran parte rociando térmicamente con aluminio.

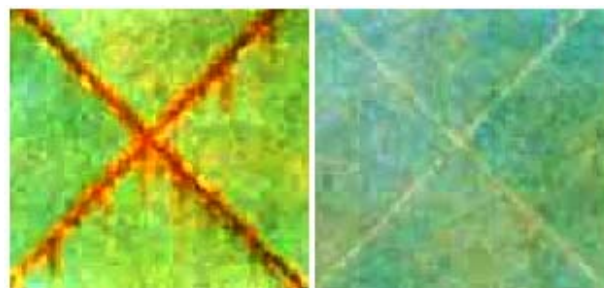
Las capas superiores de 500 µm de zinc se pueden aplicar cumpliendo todos los requisitos, pero con aluminio es generalmente mejor rociar 100-200 µm; más de 200 µm. es innecesario. La velocidad de corrosión de una capa rociada térmicamente desnuda es comparable al del zinc o del aluminio sólido, aunque la mayor área superficial expuesta puede hacer evidentes un aumento en algún porcentaje de la corrosión. Para la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, se sella o se pinta la capa rociada y alcanza una resistencia a la corrosión mucho más alta. La vida adicional depende del sellante o del espesor y el tipo de pintura usada, además del ambiente. La capa rociada térmicamente en una superficie levemente áspera da una excelente llave para la pintura. Muchos rociados simples con zinc o aluminio en unión con pintura dan un excelente servicio a largo plazo, en algunos casos estas pinturas serían totalmente inadecuadas si fueran aplicadas directamente al acero. Una amplia variedad de sistemas de pinturas se puede utilizar sobre las bases con rociado térmico.

2.2.2. Capas de pinturas sobre superficies rociadas térmicamente

Mientras que las capas de zinc rociadas térmicamente dan una protección excelente al acero, la superficie mate es muy reactiva y por lo tanto se convierte en un defecto debido a la formación de productos de corrosión. El acero galvanizado da una superficie lisa y por lo tanto no es una base ideal para la pintura, por lo tanto, es normal utilizar una base para dar la adherencia necesaria. La base es generalmente una resina butiral y un ácido fosfórico libre, la cual deja la superficie del zinc con una fina película inhibidora. La mayoría de los sistemas de pintura

dan buenos resultados con el zinc pero ciertos medios aceitosos que reaccionan con este metal deben ser evitados.

Por todo el mundo, el zinc rociado térmicamente y pintado ha dado buenos resultados en muchos tipos de condiciones de exposición y con muchos tipos de pintura, y esto es debido a la necesidad de producir la mejor pintura. Las capas de aluminio rociado térmicamente expuestas mostraron características protectoras notables y en muchos casos la única evidencia de la edad son el aspecto de los nódulos de microdurezas del óxido de aluminio, y éstas parecen ser no destructivas. Sin embargo, el blanco de la superficie rociada térmicamente pronto se decolora por la suciedad y así queda una cubierta de pintura usada. En la Figura 4. Se observa un sistema de pintura normal y otro sobre una capa de zinc-aluminio rociado térmicamente.



a) Recubrimiento pasivo b) Recubrimiento activo

Figura 4. Pinturas expuestas al ambiente después de un año. a) Pintura normal y b) Pintura sobre capa de zinc-aluminio rociado térmicamente.

Está claro que las capas finas rociadas de metal no pueden soportar alta fricción o alto daño mecánico. Si las capas se aplican con bordes afilados hay que esperar ciertos rompimientos. En la ingeniería de la construcción la mayoría de los bordes son radiales, y los problemas conectados con las esquinas no se presentan. El proceso de aspersión puede ser aplicado dondequiera que una pistola pueda alcanzar la superficie.

2.2.3. Pruebas de Corrosión de 19 años efectuado en EE.UU por la American Welding Society

En 1974 la "American Welding Society" completo un estudio de 19 años en protección anticorrosiva del aluminio y zinc rociados térmicamente en aceros de bajo carbono. A continuación se resumen algunos resultados obtenidos:

Recubrimientos de aluminio de 0.08mm a 0.15mm de espesor, ambos sellados y sin sellar, brindaron una completa protección al metal base contra la corrosión por 19 años en agua salada y atmósferas marinas e industriales severas.

El zinc rociado térmicamente sin sellar requirió 0.30mm de espesor mínimo para dar una protección total contra

agua marina por 19 años. En condiciones severas de atmósferas marinas e industriales espesores de 0.23mm de zinc sin sellar o 0.08mm a 0.15mm de zinc sellado brindó 19 años de protección. En estas condiciones la aplicación de una capa de imprimante y una o dos capas de aluminio vinílico mejoró la apariencia y extendió la vida útil en 100%.

En la aplicación del aluminio, el sellado solo mejora la apariencia, dado que en ambos casos, sellado y sin sellar, produjo una protección libre de oxidación al metal base por 19 años. Capas delgadas de aluminio tienen mejor desempeño, tiene menos tendencia a desarrollar rajaduras o ampollas y por lo tanto, mejor expectativa de duración, pero en lugares aluminizados donde existían rajaduras o desprendimientos, la corrosión no progresa, debido a la protección galvánica.

2.2.4. Expectativa de Vida de los Recubrimientos

La expectativa de vida de la estructura metálica y la duración de su apariencia estética depende esencialmente de la calidad de la preparación de la superficie y de las características de desempeño del recubrimiento que estará en contacto con el acero. En este contexto, el zinc y el aluminio juegan un papel fundamental no solo por su resistencia inherente a la corrosión sino también por su virtud excepcional de protección anticorrosiva activa que imparten al acero. Estas aplicaciones son económicamente comparativas con pinturas de alto desempeño, aunque en un periodo de 20 a 25 años los recubrimientos rociados térmicamente ofrecen enormes ahorros por no requerir mantenimiento.

Muchas soluciones diluidas de ácidos nítricos o sulfúricos, o muchos de los ácidos orgánicos tienen poco efecto en los recubrimientos rociados de aluminio con selladores adecuados. El zinc rociado térmicamente tiene muy poca resistencia a casi la mayoría de ácidos, orgánicos o inorgánicos. Los recubrimientos con zinc son usados generalmente en pHs en el rango de 6 a 12. El zinc es más resistente a aguas duras que a aguas blandas, tiene poca resistencia a temperaturas encima de 420°C en todo tipo de agua. En los lugares donde las capas de aluminio habían sido dañadas, tales como arañazos o astillados, la corrosión no progresó; por lo tanto hubo protección galvanizada. El uso del rociado térmico con capas de aluminio y zinc se recomienda para extender la vida de estructuras de acero y hierro, tales como puentes, carreteras, faroles, muelles marinos, cascos de barcos, tanques de almacenaje, estructuras industriales entre otras.

3. CONCLUSIONES

El rociado térmico es una técnica sencilla de aplicar que ha mostrado buenos resultados en diferentes campos, con lo cual se puede mejorar la forma de proteger las

estructuras y de reducir costos de mantenimiento, con lo que se aumenta la productividad de los equipos.

Los costos debido a la corrosión son muy altos en el ámbito mundial, por lo que se necesitan herramientas para combatir este problema y el proceso de rociado térmico ha demostrado ser muy útil para la protección contra la corrosión acuosa y a altas temperaturas.

Cuando se combate la corrosión, se conserva los recursos naturales usados en la manufactura del hierro y acero, con lo cual se contribuye a tener un mejor ambiente.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. AMERICAN WELDING SOCIETY. Thermal Spraying – Practice, Theory and Applications, Miami, FL, USA. 1985.
- [2]. BEASON, G. McKENCHIE, T. ZIMMERMAN, F. Advances in Thermal Spray Science and technology. Proceeding of the 8th National Thermal Spray Conference. ASM International. Materials Park. OH. 1995. Pag. 61-65.
- [3]. SHEIR, L. JARMAN, R. BURSTEIN, G. CORROSION. Volumen 2. Corrosion Control. Gran Bretaña. 2000. Pag. 446-461.
- [4]. A. VAZQUEZ, J. DAMBORENZA. Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos. Segunda edición. Textos Universitarios N° 31. Consejo superior de la investigación científica- CENIM. Madrid-España. Año 2001.
- [5]. TREVISAN, R. LIMA, C. ASPERSAO TERMICA FUNDAMENTOS E APLICACOES. Editorial Artliber. Sao Paulo – Brasil. 2002.
- [6]. ASM. INTERNATIONAL. Introduction to thermal spray processing.
http://www.asminternational.org/images2/tss_overview.pdf
- [7]. J.R. DAVIS. Handbook of Thermal Spray Technology. Publicado por: Thermal Spray Society and ASM. INTERNATIONAL. 2004.
- [8]. CENTRO DE PROYECCION TERMICA (CPT).
https://cv.mec.es/programas/JORNADAS_SEGUIMIEN TO/MAT2001Oviedo/Presentaciones/2604pmMAT2001-3399-p.ppt
- [9]. LINSpray. Proyección térmica de superficies.
[http://www.abellolinde.es/International/Web/LG/ES/likes.nsf/repositorybyalias/a_linspray/\\$file/LINSpray.PDF](http://www.abellolinde.es/International/Web/LG/ES/likes.nsf/repositorybyalias/a_linspray/$file/LINSpray.PDF)
- [10]. ZINACOR. Alambres. Metalización.
www.grupocobos.com.mx/al_zinacor.htm.
- [11]. SAMPATH, S. HERMAN, H. Thermal Spray Coating. Department of materials Science and Engineering. State University of New York.
<http://www.matscieng.sunysb.edu/tsl/thermal/article1.html>.